

Guía Técnica

Mejora del estándar tecnológico en líneas de
transmisión que minimice los impactos sociales
y ambientales



TABLA DE CONTENIDOS

1. Contexto de los Desafíos Públicos	4
2. Antecedentes de la Convocatoria para el lanzamiento de los Concursos de Innovación Abierta.....	5
3. Objetivos y resultados esperados	7
4. Detalle de Etapas	9
Etapa 1: Validación de Entornos Simulados.....	10
1.1 Inicio de la Etapa 1:	10
1.2 Resultado de la Etapa 1:	10
1.3 Plazos de la Etapa 1:	11
1.4 Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 1:	11
1.5 Monto y porcentaje de Cofinanciamiento de cada proyecto en la Etapa 1: ..	11
1.6 Aportes del Ministerio de Energía en la Etapa 1:	12
Etapa 2: Validación de Entornos Reales	12
2.1 Inicio de la Etapa 2:	12
2.2 Resultado de la Etapa 2:	12
2.3 Plazos de la Etapa 2:	14
2.4 Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 2:	14
2.5 Monto y porcentaje de Cofinanciamiento de cada proyecto en la Etapa 2:	14
2.6 Aportes del Ministerio de Energía en la Etapa 2:	15
Etapa 3: Implementación y/o escalabilidad demostrada en entorno real	15
3.1 Inicio de la Etapa 3:	15
3.2 Resultado de la Etapa 3:	15
3.3 Plazos de la Etapa 3:	16
3.4 Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 3:	16
3.5 Monto y porcentaje de Cofinanciamiento de cada proyecto en la Etapa 3: ..	16
3.6 Aportes del Ministerio de Energía en la Etapa 3:	17
5. Consideraciones del Ministerio de Energía para el desarrollo del proyecto	17
6. Resumen del proyecto.....	17
7. Anexos.....	19
7.1 Anexo con información software:	19
7.2 Link de acceso al Pliego-Técnico-Normativo-RPTD-N°11:	19
7.3 Link de acceso al coordinador eléctrico nacional donde pueden encontrar información de la ingeniería de proyectos de transmisión:	19



7.3 Link de acceso al Decreto Supremo N° 38/11 del Ministerio del Medio Ambiente: 19

7.4 Bibliografía: 20

7.5 Estudio de Ruido LT 2x500 kV Cardones – Polpaico, 29 de junio 2018, Ing. Braulio Cancino Vera, 29 de junio 2018:..... 20



1. Contexto de los Desafíos Públicos

Desafíos Públicos es un programa que apoya a organismos del Estado a encontrar soluciones a Desafíos de interés público que requieran Investigación, Desarrollo (I+D) y/o desarrollo tecnológico para ser resueltos y generar un impacto positivo en el desarrollo económico, ambiental y social a nivel país. El programa es una manera de enfrentar problemas complejos que requieren aproximaciones transdisciplinarias y multisectoriales para ser abordados íntegramente. Desde un rol coordinador el Estado fomenta activamente el desarrollo tecnológico e innovación orientados a dar solución a los Desafíos públicos que el país presenta y que afectan a su población ya sea a nivel local, regional o nacional.

Por medio de una metodología de Desafíos, el programa busca desarrollar soluciones a problemas de interés público en ámbitos de acción de organismos públicos mediante Concursos de Innovación Abierta para emprendedoras/es, Startups, equipos universitarios, empresas, entre otros. Cada concurso financia una carrera de desarrollo de prototipos para lograr una aplicación industrial lista para implementar y que el Organismo Público pueda adquirir.

El programa es gestionado en conjunto por el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (MinCiencia), el Laboratorio de Gobierno del Ministerio de Hacienda (LabGob) y la Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (ANID).

El presente instrumento busca contribuir a encontrar soluciones innovadoras a problemas de interés público que requieran de un desarrollo tecnológico e innovación, conectando a quienes demandan estas soluciones, en este caso el Ministerio de Energía con potenciales oferentes provenientes del sistema nacional de innovación.

En particular, el problema o Desafío de innovación interés público que se requiere resolver se denomina “Mejora del estándar tecnológico en líneas de transmisión que minimice los impactos sociales y ambientales” cuyo objetivo es avanzar en mejoras tecnológicas que apoyen la armonización entre la infraestructura de líneas de transmisión eléctricas y las comunidades aledañas.

Para abordar este Desafío, ANID pone a disposición el lanzamiento de concursos de innovación abierta, la cual es resultado del trabajo en conjunto con el Ministerio de Ciencia, Tecnología Conocimiento e Innovación, Laboratorio de Gobierno y el Ministerio de Energía.

La función de esta Guía Técnica es orientar a las personas usuarias en la elaboración de su postulación a la convocatoria de *Desafíos Públicos 2023: Mejora del estándar tecnológico en líneas de transmisión que minimice los impactos sociales y ambientales*, entregando información relevante para ser utilizada en la formulación.

En conjunto con esta Guía Técnica, se acompañarán las Bases del instrumento “**Desafíos Públicos 2023**” y que contienen todas las directrices y normativas respecto del proceso de postulación, admisibilidad, evaluación, seguimiento, cierre de los proyectos y temas administrativos que no forman parte de la Guía Técnica.



2. Antecedentes de la Convocatoria para el lanzamiento de los Concursos de Innovación Abierta

La transmisión eléctrica aunque sea construida y operada por privados, es una infraestructura que presta un servicio público de trasladar la electricidad que necesitamos para nuestras actividades diarias.

Uno de los principales desafíos de la transmisión eléctrica es poder armonizar su relevancia fundamental para alcanzar la carbono neutralidad de emisiones de gases de efecto invernadero del país (mandato legal, Ley Marco de Cambio Climático), con el emplazamiento territorial y la convivencia con comunidades.

En ese sentido, hay distintos efectos operativos de la transmisión, uno de estos efectos corresponde al nivel de ruido generado en líneas de transmisión eléctrica (LTE) en su Etapa de operación, a través de un proceso físico denominado efecto Corona (1), el cual bajo ciertas condiciones meteorológicas de humedad, en el punto de máximo rocío (2), genera un nivel de ruido que es molesto para las personas que viven en la cercanía a las líneas, que incluso puede superar temporalmente los límites permitidos en la norma de emisión de ruido.

En la actualidad, el nivel de ruido es mitigado de forma parcial a través de la limpieza continua de las líneas, la mantención de sus partes y la gestión de su operación. Sin embargo, el impacto muchas veces persiste a causa de factores meteorológicos (ciertas condiciones de humedad, presión atmosférica y temperatura). Además, el efecto del ruido es mayor para líneas con mayor nivel de voltaje (alta tensión) y varía en función de otras características técnicas (diámetro del conductor, trenzado del conductor, proximidad relativa entre conductores, desgaste o rotura del trenzado del conductor, material y tipo de aisladores). Por lo tanto, es necesario avanzar en soluciones tecnológicas que apoyen en la mitigación del ruido, considerando las condiciones ambientales y técnicas específicas del país.

El nivel de ruido alto, aunque sea transitorio, causa efectos directos en la calidad de vida de la población que se emplaza en los alrededores de las líneas de transmisión eléctrica, pues altera los sistemas de vida y costumbre de los grupos humanos cuando las emisiones son perceptibles, superen o no ciertos umbrales máximos, permitidos en la normativa destinada para tales fines. Esto afecta principalmente a las personas que viven en zonas rurales, dado que el ruido del entorno es muy bajo y que el ruido por el efecto corona se produce en la madrugada, justo antes de amanecer, por lo que es más perceptible y molesto. A nivel urbano también se percibe el ruido generado por el efecto corona, pero el ruido de las ciudades tiende a enmascarar el ruido de las líneas de transmisión.

Existe un proceso sancionatorio de la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) contra la empresa Interchile S.A (ISA) por su línea de transmisión eléctrica de 500 kV Cardones Polpaico por superación de la norma de emisión de ruido.

Dado que se requiere de más transmisión eléctrica para alcanzar la meta de carbono neutralidad antes del 2050 conforme a lo mandatado en la Ley 21.455, es importante avanzar en mejoras tecnológicas que apoyen la armonización entre esta infraestructura y las comunidades aledañas.



En ese sentido, la Agenda de Energía 2022-2026, establece el compromiso de “mejorar los estándares de la transmisión eléctrica para promover obras que apoyen la descarbonización energética, asegurando que se cumplan criterios de sustentabilidad que garanticen armonía social, ambiental y territorial, y de promover la sustentabilidad de la infraestructura energética a través de la mejora del marco normativo y del desarrollo de estándares, instrumentos y guías de buenas prácticas y/o principios orientadores, de manera de guiar la localización e inserción territorial de los proyectos de energía, junto con minimizar sus impactos ambientales”. Una solución tecnológica al ruido producido por el **“efecto corona” (1)** permitiría cumplir de mejor manera con los compromisos climáticos y ambientales del país.

(1) El efecto corona se produce por la ionización de partículas de aire en la superficie de los conductores.

(2) El punto de rocío representa la temperatura más baja a la que se puede enfriar el aire con valores específicos de temperatura y humedad relativa (HR). En el punto de rocío, el aire tiene una humedad relativa de 100% y un enfriamiento adicional produce condensación en lugar de reducir la temperatura del aire.

El ruido provocado por el efecto corona de las líneas de transmisión eléctricas genera tanto molestia para las personas que viven cerca, como pérdidas de energía para las empresas de transmisión eléctrica, éste ruido podría disminuirse con nuevos desarrollos tecnológicos, con mejores diseños previo a la construcción de las líneas, con una evaluación ambiental de la componente ruido más precisa, con un mejor emplazamiento de las obras, por mencionar algunos aspectos que creemos que a través de la convocatoria de desafíos públicos podría resolver.

Por tanto, el desafío es desarrollar una solución tecnológica que permita disminuir la percepción de ruido generado por el efecto corona de las líneas de transmisión eléctricas de corriente alterna mayor o igual a 220 kV, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan cerca a estas infraestructuras.

En la actualidad, el nivel de ruido es mitigado de forma parcial a través de la limpieza continua de las líneas, la mantención de sus partes y la gestión de su operación. Sin embargo, el impacto muchas veces persiste a causa de factores meteorológicos (ciertas condiciones de humedad, presión atmosférica y temperatura) para lo cual se requiere avanzar en soluciones tecnológicas que apoyen en la mitigación de estos, considerando las condiciones específicas del país.

La mayoría de las soluciones para mitigar el ruido por efecto corona, debieran ser implementadas en la etapa de diseño de la línea, dado que es en esta etapa donde se selecciona el trazado de la línea, el tipo de conductor, la cantidad de éstos, el distanciamiento entre conductores y Etapas, los materiales a utilizar, descarga a tierra, tipo de estructura y peso que es capaz de soportar. En caso contrario, una vez que la línea está en operación, la implementación de cualquier tipo de solución implicaría cambios en la configuración de la línea y/o agregar un peso adicional sobre las estructuras, soluciones más complejas. Por ejemplo, soterrar las líneas disminuye el ruido, pero es una solución cara y aplicada a tramos acotados de distancia.

En cuanto a la experiencia internacional, se tuvo acceso a un artículo científico (Alvarez-Alvarado et al., 2022) y entrevista a expertos ecuatorianos, pero la solución planteada



está en etapa de investigación y no ha sido implementada aún. La solución consiste en un mecanismo que contiene aceite dieléctrico que se libera para generar una capa aislante para proteger la línea de los campos eléctricos, reduciendo la presencia del efecto corona. Sin embargo. En esta solución es necesario recargar el aceite dieléctrico luego de vaciarse por completo, por lo que no es una solución permanente.

En la literatura académica, Megala et al. (2019) estudiaron la reducción de descargas eléctricas producto del efecto corona mediante el recubrimiento de los conductores utilizando una sustancia polimérica nanocompuesta. Al incrementar el espesor de recubrimiento, el campo eléctrico se reduce en comparación con el conductor desnudo, permitiendo una reducción/extinción del efecto corona y el ruido audible asociado. Por otro lado, Radwan et al. (2013) estudia la mitigación de los campos eléctricos que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas que viven cerca de las líneas. La solución consiste en un apantallamiento a los conductores respecto al suelo, instalándose paralelamente a lo largo del conductor. Al sensibilizar las configuraciones del apantallamiento y distancias eléctricas, se obtiene una reducción del campo eléctrico que a su vez puede ser beneficioso para la reducción del efecto corona.

En otros países, como España, el tema del efecto corona sobre la población es abordado a través de la normativa de ruido, diferenciando el tipo de ruido generado por las líneas de transmisión, el cual se caracteriza por ser monotonal, y por ende tiene una normativa más exigente que el resto de los ruidos.

En relación con lo mencionado anteriormente, no se tiene conocimiento de antecedentes internacionales que den cuenta de soluciones tecnológicas específicas probadas que, sumadas a las características técnicas e ingenieriles propias estándar de las líneas de transmisión, hayan permitido resolver el problema de ruido por efecto corona en las líneas de transmisión.

Las características atmosféricas que generan ruido en las líneas de transmisión son diferentes si son líneas de corriente alterna (alto grado de humedad, punto máximo de rocío) o corriente continua (sequedad). También se sabe que a mayor voltaje de la línea de transmisión (en corriente alterna), el ruido es más perceptible.

Para cualquier ruido en general, debe entenderse que éste es más percibido para un receptor cuando el ruido de fondo (el ruido ambiente) es más bajo. En este sentido, la misma fuente de ruido será más notoria en un entorno rural, comparado a un entorno urbano en el cual el ruido ambiente es mayor y constante.

El ruido por efecto corona en líneas de corriente alterna se produce justo antes del amanecer, en el punto máximo de rocío, donde el ruido de fondo es más bajo, sobre todo en áreas rurales cercanas a la costa, por tanto, aunque no es un ruido permanente, es una molestia que se repite varias veces.

El efecto corona es una falla, pérdida de energía, efecto indeseado, por tanto, desde el diseño se debiera evitar las pérdidas de energía, que además genera ruido.

3. Objetivos y resultados esperados



El objetivo general de la convocatoria enmarcado en el instrumento Desafíos Públicos es:

Desarrollar y validar una solución científico-tecnológica que permita disminuir la percepción de ruido generado por el efecto corona de las líneas de transmisión eléctrica de corriente alterna mayor o igual a 220 kV, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan cerca a estas infraestructuras.

Los objetivos específicos son:

- 1) Validar en un entorno simulado una reducción a 35 decibeles o menos del ruido audible de líneas de transmisión eléctrica de corriente alterna, mayores o iguales a 220 kV, que se instalen en áreas rurales con bajo ruido de fondo.
- 2) Pilotear en un entorno real controlado una reducción a 35 decibeles o menos del ruido audible de líneas de transmisión eléctrica de corriente alterna, mayores o iguales a 220 kV, que se instalen en áreas rurales con bajo ruido de fondo.
- 3) Implementar en entorno real, en una línea de transmisión instalada y operativa, una reducción a 35 decibeles o menos del ruido audible de líneas de transmisión eléctrica de corriente alterna, mayores o iguales a 220 kV, instaladas en áreas rurales con bajo ruido de fondo.

Los resultados esperados globales son:

1. Etapa 1: Prototipo que demuestre en un entorno simulado (software) las tres mayores disminuciones del ruido audible por efecto corona respecto a una situación base común para los tres (valores iguales o menores a los 35 decibeles).
2. Etapa 2: Prototipo que demuestre en un entorno real controlado una disminución del ruido audible por efecto corona (valores iguales o menores a los 35 decibeles) y que cumpla con los atributos descritos para este desafío.
3. Etapa 3: Solución tecnológica aplicada en una línea de transmisión eléctrica de 220 kV o superior con una disminución del ruido audible por efecto corona (valores iguales o menores a los 35 decibeles) y cumpla con los atributos descritos para este desafío.

Se espera que las soluciones tecnológicas tengan los siguientes atributos y/o marco referencial que permita abordar el Desafío:

1. Costo: Que tengan un costo de implementación que sea competitivo, comparado con soluciones tradicionales, como el cambio de conductor y/o cadenas de aislamiento u otras modificaciones físicas de la línea.
2. Adaptable: La solución debe ser escalable y ajustable para ser aplicada a líneas existentes de diferentes niveles de tensión y ubicación geográfica, cumpliendo la normativa vigente: Pliego-Técnico-Normativo-RPTD-N°11 (link en anexo).
3. Liviana: Que el peso de la solución sea lo suficientemente liviana acorde a la infraestructura actual de la torre, que no implique una modificación de dicha infraestructura, es decir, la implementación de la solución debe ser tal que no



altere las condiciones de diseño de las líneas sobre la cual se aplica, y si se alteran están condiciones de diseño, dichas alteraciones deberán utilizar los posibles rangos de holgura con que se diseñó dicha línea (como referencia ver detalle de la ingeniería disponible en la web del coordinador, link en anexo).

4. Efectiva: Sean efectivas en condiciones de bajo ruido de fondo, similares a las existentes en áreas rurales poco habitadas, y también, en la condición atmosférica de mayor humedad ambiente, conocida como punto de rocío, en las que operan las líneas de transmisión en Chile.
5. Eficiente: La solución deberá permitir una rápida y fácil implementación, con el fin de minimizar los tiempos de trabajo e intervenciones de las líneas para su aplicación.
6. Reducir brecha actual normativa vigente: Se busca que la solución permita una emisión de ruido audible menor a la normativa de emisión de ruido en áreas rurales, establecida en el DS 38/2012 del Ministerio del Medio Ambiente o sus actualizaciones (referencia en anexo). Esto, ya que, además de cumplir la norma de emisión de ruido vigente, se busca evitar la molestia del ruido en las personas que habitan en las cercanías de las líneas.
7. Inocuo con el ambiente en el que se inserte: La solución debe considerar que desde el punto de vista de diseño y operación no altere las condiciones del entorno tanto bióticas como abióticas. También deberá minimizar los impactos visuales y en el entorno físico de las líneas.
8. Autónoma: La solución debe ser autónoma para operar en altura y en zonas de difícil acceso. El diseño de la solución debe ser tal que permita su implementación y/u operación utilizando un mínimo de recursos externos, para permitir su implementación en cualquier ubicación geográfica.
9. Resistente: Que la solución sea duradera en el tiempo instalada al aire libre bajo diversas condiciones climáticas, como condiciones de humedad (100% de humedad), salinidad, resistente a velocidad de viento, exposición solar, entre otras. La solución deberá utilizar materiales y/o equipos con una vida útil probada, para su utilización en diversos lugares geográficos y condiciones climáticas.
10. Rapidez: Que el tiempo de despliegue de la solución sea de manera ágil y eficiente.

4. Detalle de Etapas

La presente convocatoria tendrá 3 Etapas que se llevarán a cabo en forma consecutiva, las cuales se denominan:

- Etapa 1: Validación de Entornos Simulados
- Etapa 2: Validación de Entornos Reales
- Etapa 3: Implementación y/o escalabilidad demostrada en Entorno Real



En cada una de las Etapas se desarrollarán actividades conducentes a alcanzar los resultados esperados en ellas. Asimismo, cada Etapa tendrá un número de proyectos seleccionados, los que serán indicados en este mismo apartado.

A continuación, se detallan las Etapas que contendrá la presente convocatoria:

Etapa 1: Validación de Entornos Simulados

1.1 Inicio de la Etapa 1:

El proceso de admisibilidad, evaluación y adjudicación de los proyectos que ingresen a la Etapa 1, se regirá de acuerdo con lo indicado en el punto referido a Proceso de Evaluación, Adjudicación, Ejecución y Término de proyectos de las bases de Desafíos Públicos 2023.

Al momento de la postulación, cada postulante deberá contar con un prototipo que pueda ser validado en un entorno simulado. Se entenderá como prototipo a la descripción de la solución con resultados obtenidos en simulaciones y también resultados experimentales obtenidos en un entorno controlado y a escala (laboratorio). Estos resultados deben ser entregados en un documento que describa detalladamente los escenarios y consideraciones asumidas para la obtención de los resultados.

Entre los antecedentes a entregar se solicita un documento que describa detalladamente el contexto de la problemática a abordar, que describa detalladamente la forma en que busca abordar la problemática definida, que entregue o cite los antecedentes bibliográficos que respalden que la solución propuesta es factible y efectiva para la problemática de disminuir la percepción de ruido generado por el efecto corona de las líneas de transmisión eléctricas, que describa las funcionalidades principales de su solución, el cumplimiento de los atributos mínimos requeridos y el nivel de ruido esperado en decibeles.

1.2 Resultado de la Etapa 1:

El resultado de esta Etapa será un prototipo validado en entornos simulados. Se entenderá como prototipo en entornos simulados a la caracterización de una solución que sea capaz de minimizar el ruido audible provocado por el efecto corona¹ en líneas de transmisión eléctrica de corriente alterna mayores o igual a 220 kV, en operación, en condiciones rurales, con condiciones climáticas y territoriales que potencien el efecto corona (alto grado de humedad: 100% de humedad, llovizna, entre otros, en área rural con bajo ruido de fondo, menor a 40 dBA).

Se entenderá como validación en entornos simulados al software con las características de una línea de transmisión que definirá el mandante respecto a la longitud de la línea

¹ El efecto corona se produce por la ionización de partículas de aire en la superficie de los conductores.



(km), tamaño en kV, número de torres, características del terreno por donde pasará, tamaño y material del conductor, entre otros parámetros de entrada al/los software.

De igual manera, a partir de la caracterización de la solución entregada al momento de la postulación se definirá el/los software a utilizar de manera de asegurar la comparabilidad de los resultados obtenidos.

Se espera que el prototipo cumpla, con al menos, los siguientes requisitos/parámetros/atributos:

1. Disminuya el ruido audible generado por el efecto corona respecto a la situación base (valores iguales o menores a los 35 decibeles), a partir de un análisis técnico de entorno simulado.
2. Pueda ser utilizado, en líneas de transmisión ya en operación, para lo cual se espera que sea compatible con la normativa eléctrica y ambiental y sea factible de adaptar a las estructuras existentes.

Para la simulación del efecto corona y el ruido que se genera en las líneas de transmisión de alto voltaje generalmente requiere un software especializado que pueda modelar con precisión los fenómenos electromagnéticos involucrados. Entre los programas de software que existen las dos opciones que se usan comúnmente para este propósito son **PSCAD y EMTP-RV (Anexo información software)**.

De ser necesario, la Asociación de Transmisoras de Chile facilitará temporalmente, por los 6 meses de duración de las pruebas en entornos simulados, el uso de 5 licencias para los software especializados, los cuales deberán ser utilizados sólo para efectos del desafío.

1.3 Plazos de la Etapa 1:

Las actividades de esta Etapa deberán desarrollarse dentro de un plazo máximo de 6 meses.

Para avanzar a la siguiente Etapa todos los proyectos adjudicados en la Etapa 1 deben presentar un informe de resultados y propuesta de continuidad a la Etapa 2 antes del término de la Etapa 1. Junto con esto, deberán declarar todos los gastos correspondientes al presupuesto ejecutado en la Etapa 1.

1.4 Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 1:

La presente convocatoria adjudicará en esta Etapa 5 proyectos. De estos 5 proyectos, 3 pasarán a la Etapa 2.

1.5 Monto y porcentaje de Cofinanciamiento de cada proyecto en la Etapa 1:



El monto por cofinanciar para cada proyecto adjudicado para la Etapa 1 es de hasta \$26.000.000, lo que corresponde hasta el 80% del costo total del proyecto. El porcentaje restante, mínimo 20% del costo total del proyecto, debe ser aportado por el beneficiario, y/o la/s entidad/es asociada/s en forma nueva o incremental.

1.6 Aportes del Ministerio de Energía en la Etapa 1:

Para la Etapa 1 los proyectos adjudicados podrán tener acceso a:

La información que el Ministerio de Energía ha levantado en el proceso de investigación del desafío público, los contactos de especialistas a quienes ha entrevistado, la normativa ambiental y sectorial aplicable, reuniones con los equipos emprendedores para resolución de dudas y avance de resultados (presenciales o remotas) y vinculación con las empresas de transmisión, a través de la Asociación de Transmisoras de Chile, para el uso de el/los software en caso de ser necesario.

El Ministerio de Energía, como mandante y la Asociación de Transmisoras aportarán también al desafío público en la Etapa 1 a través de las horas destinadas por profesionales que permitan aportar con orientaciones técnicas de esta Etapa.

El Ministerio de Energía definirá los parámetros de entrada para la simulación de la línea de transmisión eléctrica. La Asociación de Transmisoras facilitará temporalmente el/los software requerido/s para la simulación en el caso de ser requeridos, el cual deberá ser utilizados sólo para efectos del desafío.

Etapa 2: Validación de Entornos Reales

2.1 Inicio de la Etapa 2:

El proceso de evaluación y selección de proyectos que ingresen en la Etapa 2, será lo indicado en el punto referente a Informe de Continuidad y evaluación de continuidad entre etapas de las bases de los Desafíos Públicos 2023.

Cada postulante deberá contar, al momento del inicio de la Etapa 2, con un prototipo validado a nivel entornos simulados. Para la presente convocatoria, se entenderá como prototipo validado en entornos simulados: a los prototipos que demuestren, en la simulación realizada durante la Etapa 1, una disminución del ruido audible por efecto corona respecto a la situación base (valores iguales o menores a los 35 decibeles).

2.2 Resultado de la Etapa 2:

El resultado de esta Etapa será un prototipo validado en entornos reales controlados. Se entenderá como prototipo en entornos reales: la construcción y desarrollo de la solución de tal manera de contar con un prototipo real que pueda ser puesto a prueba en un entorno controlado.



La validación a nivel de entornos reales se entenderá como: la puesta a prueba del prototipo de solución tecnológica en un ambiente real, pero con condiciones controladas (patio de prueba) y con parámetros definidos por el mandante con el fin de caracterizar una situación base común para los equipos. El Ministerio de Energía, en su calidad de mandante, gestionará la disponibilidad de un patio de prueba adecuado para el desarrollo de esta validación, a través de la Asociación de Transmisoras de Chile. En cuanto a características técnicas, el patio de prueba debe ser del rango de tensión mínimo de 220 kV y que permita tener sistema de protección de sobre corriente/tensiones programables para poder operar de forma segura.

Un patio de pruebas para líneas de transmisión eléctricas es un patio, espacio físico diseñado, y equipado específicamente para realizar pruebas y experimentos relacionados con el funcionamiento y la seguridad de las líneas de transmisión eléctrica. Algunas de las características comunes de un patio de pruebas para líneas de transmisión eléctricas:

Dimensiones adecuadas: El patio de pruebas debe tener suficiente espacio para permitir la instalación de los componentes y equipos necesarios, así como para simular la distancia y condiciones reales de una línea de transmisión.

Configuración ajustable: El diseño del patio de pruebas debe permitir la configuración de diferentes tipos de líneas de transmisión, como líneas de transmisión aéreas, subterráneas o de cables submarinos. Esto implica la instalación de estructuras, torres o postes, así como el tendido de cables.

Fuentes de energía: El patio de pruebas debe contar con fuentes de energía eléctrica adecuadas para suministrar la energía necesaria para las pruebas. Esto puede incluir conexiones a la red eléctrica, generadores o bancos de baterías.

Equipamiento de prueba: Deben estar disponibles equipos y dispositivos para realizar mediciones, pruebas de carga, pruebas de aislamiento, pruebas de resistencia, pruebas de continuidad, entre otras. Esto puede incluir instrumentos de medición, equipos de generación y control de señales eléctricas, y sistemas de monitoreo.

Sistema de seguridad: La seguridad es fundamental en un patio de pruebas para líneas de transmisión eléctricas. Debe haber sistemas de seguridad adecuados, como protecciones contra sobrecargas, interruptores de emergencia, sistemas de puesta a tierra y señalización clara de áreas peligrosas.

Condiciones ambientales controladas: El patio de pruebas debe permitir el control de las condiciones ambientales, como la temperatura, la humedad y las condiciones climáticas, para simular situaciones reales y evaluar el rendimiento de las líneas de transmisión en diferentes escenarios.

Infraestructura de comunicación: Puede ser necesario contar con una infraestructura de comunicación, como sistemas de radio o redes de datos, para monitorear y controlar las pruebas en tiempo real.



Documentación y registro de datos: El patio de pruebas debe contar con un sistema para registrar y documentar los resultados de las pruebas realizadas, lo que incluye la recopilación de datos y la generación de informes.

Se espera que el prototipo cumpla con, al menos, los siguientes requisitos/parámetros/atributos:

1. Disminuya el ruido audible generado por el efecto corona respecto a la situación base (valores iguales o menores a los 35 decibeles).
2. Pueda ser utilizado en líneas de transmisión ya en operación, para lo cual se espera que cumpla con la normativa ambiental y eléctrica y sea factible de adaptar a las estructuras existentes.
3. Su implementación implique un costo que sea competitivo comparado con soluciones tradicionales.

De las propuestas que fueron puestas a prueba en un entorno real controlado, se seleccionará la solución que haya demostrado la disminución del ruido audible por efecto corona a valores iguales o menores a los 35 decibeles. La medición del ruido audible con y sin la solución debe ser realizada utilizando los procedimientos normativos específicos establecidos en el Decreto Supremo N° 38/11 del Ministerio del Medio Ambiente (link en Anexo).

Al final de esta Etapa se seleccionará la solución que demuestre una mayor disminución del ruido audible por efecto corona respecto a la situación base y cumpla con los atributos descritos para esta Etapa del desafío.

2.3 Plazos de la Etapa 2:

Las actividades de esta Etapa deberán desarrollarse dentro de un plazo máximo de 6 meses.

Para avanzar a la siguiente Etapa, en caso de que el Desafío lo considere, todos los proyectos adjudicados en la Etapa 2 deben haber presentado su informe de resultados y su propuesta de continuidad para la Etapa 3 antes del término de la Etapa 2. Junto con esto, deberán haber declarado todos los gastos correspondientes al presupuesto ejecutado en la Etapa 2.

2.4 Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 2:

La presente convocatoria adjudicará en esta Etapa 3 proyectos.

2.5 Monto y porcentaje de Cofinanciamiento de cada proyecto en la Etapa 2:

El monto por cofinanciar para cada proyecto adjudicado para la Etapa 2 es de hasta \$60.000.000, lo que corresponde hasta el 80% del costo total del proyecto. El porcentaje



restante, mínimo 20% del costo total del proyecto, debe ser aportado por el equipo beneficiario, y/o la(s) entidades asociada(s) en forma nueva o incremental.

2.6 Aportes del Ministerio de Energía en la Etapa 2:

Para la Etapa 2 los proyectos adjudicados podrán tener acceso a:

La información que el Ministerio de Energía ha levantado en el proceso de investigación del desafío público, los contactos de especialistas a quienes ha entrevistado, la normativa ambiental y sectorial aplicable, reuniones con los equipos emprendedores para resolución de dudas y avance de resultados (presenciales o remotas) y vinculación con la Asociación de Transmisoras de Chile. Esta última facilitará el patio de prueba requerido para la simulación en entorno real.

El Ministerio de Energía, como mandante, y la Asociación de Transmisoras aportarán también al desafío público en la Etapa 2 a través de las horas destinadas por profesionales que permitan aportar con orientaciones técnicas de esta Etapa.

Etapa 3: Implementación y/o escalabilidad demostrada en entorno real

3.1 Inicio de la Etapa 3:

El proceso de evaluación y selección de proyectos que ingresen en la Etapa 3, será lo indicado en el punto referido a Informe de Continuidad y evaluación de continuidad entre etapas de las bases de los Desafíos Públicos 2023.

Cada postulante deberá contar al momento del inicio de la Etapa 3 con un prototipo validado en entorno real controlado, escalable a líneas de transmisión eléctricas de 220 kV o superiores instaladas y operativas. Para la presente convocatoria se entenderá como prototipo validado en entorno real al prototipo que demuestre, en un ambiente real pero con condiciones controladas, una disminución del ruido audible por efecto corona respecto a la situación base y cumpla con los atributos descritos para la Etapa 2 del desafío (disminuya el ruido respecto a la situación base - valores iguales o menores a los 35 decibeles - pueda ser utilizado en líneas de transmisión ya en operación y que su implementación implique un costo que sea competitivo comparado con soluciones tradicionales).

3.2 Resultado de la Etapa 3:

El resultado de esta fase será la implementación y/o escalabilidad demostrada en entorno real. Se entenderá como la implementación y/o escalabilidad demostrada en



entorno real: a la implementación de un piloto en una línea de transmisión eléctrica² de 220 kV o superior, por un periodo de 6 meses en el que se pueda evaluar el efecto sobre el ruido audible por efecto corona con y sin la solución.

Se espera que la implementación y/o escalabilidad cumpla con al menos los siguientes requisitos/parámetros/atributos:

El resultado de esta etapa será:

1. Las mediciones de ruido en decibeles (dB) con y sin la solución utilizando los procedimientos normativos específicos establecidos en el Decreto Supremo N° 38/11 del Ministerio del Medio Ambiente. Revisar en el punto 6.4 de esta guía técnica.
2. La percepción de ruido por parte de personas habitantes de los lugares en los cuales se implementará la solución, estableciendo una escala de 0 a 10, donde 0: no percibe ruido molesto; 1-3: ruido molesto leve; 4-8: ruido molesto moderado 9-10: ruido molesto intenso.
3. Identificación de aprendizajes obtenidos durante el piloto y en base a eso una propuesta de ajuste en la solución.
4. Reporte informando cómo la solución cumple con los atributos solicitados en la guía técnica. Puede ser elaboración de ficha técnica que incluya los atributos y/o funcionalidades de la solución.

3.3 Plazos de la Etapa 3:

Las actividades de esta Etapa deberán desarrollarse dentro de un plazo máximo de 12 meses.

3.4 Número de proyectos a adjudicar en la Etapa 3:

La presente convocatoria adjudicará en esta Etapa 1 proyecto.

3.5 Monto y porcentaje de Cofinanciamiento de cada proyecto en la Etapa 3:

El monto a cofinanciar por cada proyecto adjudicado para la Etapa N°3 es de hasta \$150.000.000, lo que corresponde hasta el 80% del costo total del proyecto. El porcentaje restante, mínimo 20% del costo total del proyecto, debe ser aportado por el equipo beneficiario, y/o la/s entidad/es asociada/s en forma nueva o incremental.

² Una línea de transmisión eléctrica es una infraestructura metálica que funciona como soporte de conductores eléctricos por donde se transmite, a grandes distancias, la energía eléctrica que viene desde una central de generación eléctrica.

3.6 Aportes del Ministerio de Energía en la Etapa 3:

Para la Etapa 3 los proyectos adjudicados podrán tener acceso a:

Reuniones de avance y vinculación con las empresas de transmisión a través de la Asociación de Transmisoras de Chile para facilitar una línea de transmisión eléctrica en la que se pueda realizar el piloto.

5. Consideraciones del Ministerio de Energía para el desarrollo del proyecto

A solicitud del Ministerio de Energía, la Asociación de Transmisoras de Chile, a través de sus empresas afiliadas u otras instituciones, pondrá a disposición de los innovadores/innovadoras temporalmente:

- El/los software especializados para realizar la simulación de las propuestas de solución, en caso de no contar con dichos software. Lo anterior será sólo por los 6 meses correspondientes a la Etapa 1.
- Patios de prueba para la validación de las propuestas en entorno real controlado, por los 6 meses correspondientes a la Etapa 2.
- Líneas de transmisión eléctrica de 220 kV o superiores instaladas y operativas para probar un prototipo de solución.

6. Resumen del proyecto

En función de los aspectos detallados anteriormente, el reto se organiza de la siguiente manera:



Nº proyectos a adjudicar	5	3	1
Descripción	En esta Etapa 5 prototipos serán puestos a prueba en un entorno simulado (software) sobre una situación base entregada por el	En esta Etapa 3 prototipos serán puestos a prueba en un ambiente real, pero con condiciones controladas (patio de prueba) y con	En esta Etapa 1 prototipo será puesto a prueba en un entorno real, escalable a líneas de transmisión eléctricas de 220 kV o superiores

	<p>mandante con las características de una línea de transmisión que definirá el mandante respecto a la longitud de la línea (km), tamaño en kV, número de torres, características del terreno por donde pasará, tamaño y material del conductor, entre otros parámetros de entrada al/los software.</p> <p>El producto que debe entregar cada una de las cinco propuestas debe ser el informe con todos los antecedentes bibliográficos que respalden la solución y el archivo de salida del software con su solución probada que permita replicar lo que se ha presentado.</p> <p>Monto: \$26.000.000 Plazo: 6 meses</p>	<p>parámetros definidos por el mandante con el fin de caracterizar una situación base común para los equipos. El Ministerio de Energía gestionará la disponibilidad de un patio de prueba adecuado para el desarrollo de esta validación, a través de la Asociación de Transmisoras de Chile.</p> <p>El producto que debe entregar cada una de las tres propuestas debe ser el informe con todos los antecedentes bibliográficos que respalden la solución y los resultados obtenidos en el patio de prueba.</p> <p>Monto: \$60.000.000 Plazo: 6 meses</p>	<p>instaladas y operativas.</p> <p>El resultado de esta etapa será:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Las mediciones de ruido en decibeles (dB) con y sin la solución. 2. La percepción de ruido, estableciendo una escala de 0 a 10, donde 0: no percibe ruido molesto; 1-3: ruido molesto leve; 4-8: ruido molesto moderado 9-10: ruido molesto intenso 3. Identificación de aprendizajes obtenidos durante el piloto y en base a eso una propuesta de ajuste en la solución. <p>Monto: \$150.000.000 Plazo: 12 meses</p>
Proyectos seleccionados que pasan a la siguiente Etapa	3	1	N/A



7. Anexos

7.1 Anexo con información software:

Existen varios software disponibles para simular la transmisión de líneas eléctricas de 220 kV o mayores. Algunos software de uso común en la industria energética incluyen:

1. PSS/E (Power System Simulator for Engineering): PSS/E es un software ampliamente utilizado desarrollado por Siemens PTI (Power Technologies International). Es conocido por sus capacidades integrales de modelado y se usa comúnmente para el flujo de energía, la estabilidad transitoria y el análisis de fallas de los sistemas de energía.
2. ETAP (Programa de analizador de transitorios eléctricos): ETAP es un software completo de análisis del sistema de potencia que incluye módulos para el análisis del sistema de transmisión. Proporciona una gama de características para el análisis de flujo de carga, cortocircuito y estabilidad transitoria, entre otros.
3. DigSilent PowerFactory: PowerFactory es una poderosa herramienta de simulación desarrollada por DlgSILENT GmbH. Ofrece una amplia gama de funciones para el análisis de sistemas de potencia, incluido el análisis de sistemas de transmisión. A menudo se utiliza para estudios de flujo de carga, análisis de fallas y estudios de estabilidad transitoria.
4. PSCAD (Diseño asistido por computadora de sistemas de potencia): PSCAD es un software especializado para simular transitorios de sistemas de potencia y fenómenos electromagnéticos. Se usa comúnmente para estudiar el comportamiento transitorio, como eventos de falla y operaciones de conmutación, en sistemas de transmisión.
5. EMTP-RV (Programa de transitorios electromagnéticos): EMTP-RV es una herramienta de software diseñada específicamente para simular transitorios electromagnéticos en sistemas de potencia. A menudo se utiliza para analizar fenómenos transitorios, como rayos y transitorios de conmutación, en líneas de transmisión de alta tensión.

7.2 Link de acceso al Pliego-Técnico-Normativo-RPTD-N°11:

<https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2020/09/Pliego-T%C3%A9cnico-Normativo-RPTD-N%C2%B011-L%C3%ADneas-de-alta-tensi%C3%B3n.pdf>

7.3 Link de acceso al coordinador eléctrico nacional donde pueden encontrar información de la ingeniería de proyectos de transmisión:

<https://infotecnica.coordinador.cl/>

7.3 Link de acceso al Decreto Supremo N° 38/11 del Ministerio del Medio Ambiente:

<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1040928>

7.4 Bibliografía:

Análisis sobre la aplicabilidad de la Norma de emisión de ruido en relación con las líneas de transmisión eléctrica, desarrollado por Ecos Chile para ISA Interchile y sus cuatro Anexos:

Anexo 1. Cuantificación de ruido generado por efecto corona en líneas de transmisión. Departamento de Energía Eléctrica - Universidad Técnica Federico Santa María.

Anexo 2. Análisis Técnico de la Norma de emisión de ruido en relación con las líneas de transmisión eléctrica

Anexo 3. Norma de ruido en áreas rurales y su inaplicabilidad frente al crecimiento no planificado de parcelas de agrado

Anexo 4: Análisis legal comparativo de la Norma de Emisión de Ruido en relación con las líneas de transmisión eléctrica, desarrollado por Ecos Chile para Isa Interchile.

Anteproyecto de la revisión del DS 38, del Ministerio del Medio Ambiente, del 2012: <https://planesynormas.mma.gob.cl/archivos/2023/proyectos/335-343.Res.N.180.2023.Ant.Norma.Emision.Ruido.Fuentes.Fijas.pdf> Contiene la propuesta de revisión de la norma de emisión de ruido vigente.

CIGRE Working Group 36.01, Interference produced by corona effect of electric systems. CIGRE, 1966.

Corona and Fields Effect Subcommittee, "A Comparison of Methods for Calculating Audible Noise of High Voltage Transmission Lines," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-101, no. 10, pp. 4090-4099, 1982. [Online].

Decreto Supremo N°38/2011 del Ministerio del Medio Ambiente. Norma que regula la emisión del ruido de fuentes que indica. Ministerio del Medio Ambiente, Santiago de Chile (2011): <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1040928>

7.5 Estudio de Ruido LT 2x500 kV Cardones – Polpaico, 29 de junio 2018, Ing. Braulio Cancino Vera, 29 de junio 2018:

Guía metodológica para la consideración del cambio climático en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental (2023).

Guía para la Predicción y Evaluación de Impactos por Ruido y Vibración en el SEIA. Servicio de Evaluación Ambiental (2019).

M. S. Alvarez-Alvarado, C. A. Apolo-Tinoco and W. Velasquez, «Corona Discharge Impact Suppression in Ultra High Voltage Using a Novel Mechanism With Dielectric Oil», IEEE Access, vol. 10, pp. 62548-62555, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3182340.

Megala, V., & Sugumaran, C. P., «Application of PI/MWCNT Nanocomposite for AC Corona Discharge Reduction», IEEE Transactions on Plasma Science, vol. 47, no. 1, pp. 680-687, 2019. doi:10.1109/tps.2018.2877581



Radwan, R. M., Mahdy, A. M., Abdel-Salam, M., & Samy, M. M. «Electric field mitigation under extra high voltage power lines». IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 20, no. 1, pp. 54-62, 2013, doi:10.1109/tdei.2013.6451341